पृथ्वी की विगत जलवायु के बारे में आप जो कुछ भी जानना चाहते हैं

ये हमारे भविष्य के बारे में बहुत कुछ बता सकते हैं

रेचल ई. ग्रोस्स

सा*इलेंट स्प्रिंग* नामक किताब में, रेचल कार्सन, पश्चिमी सेजब्रश (तेजपत्ता जैसा पौधा) का ज़िक्र करती हैं। वे लिखती हैं, "यहाँ का प्राकृतिक परिदृश्य, उसको रचने वाले बलों की अन्तर्क्रिया की अभिव्यक्ति है। यह हमारे सामने एक खुली किताब के पन्नों की तरह फैला हुआ है, जिसे हम पढ़ सकते हैं, एवं ऐसे सवालों का उत्तर ढूँढ़ सकते हैं कि ज़मीन जैसी है वैसी क्यों है, क्यों हमें उसकी निरन्तरता का संरक्षण करना चाहिए? लेकिन इन पन्नों को अभी पढ़ा नहीं गया है।" एक विलुप्त होने वाले, खतरे में पड़े परिदृश्य का उन्हें दुख है। पर उतने ही स्वाभाविक तौर पर ये कथन पुराजलवायु (paleoclimate) के संकेतकों पर भी लागू होते हैं।

यह जानने के लिए कि आप कहाँ जा रहे हैं, आपको यह जानना होगा कि आप कहाँ से आए हैं। जलवायु वैज्ञानिकों के लिए यह विशेष रूप से ज़रूरी है कि वे पृथ्वी में होने वाले बदलावों की पूरी श्रृंखला की समझ बनाएँ ताकि हमारे भविष्य के मार्ग का लेखा-जोखा तैयार किया जा सके। लेकिन टाइम मशीन के बिना, उन्हें इस तरह का डेटा कैसे मिल सकता है?

कार्सन की तरह, उन्हें पृथ्वी के पन्नों को पढ़ना होगा। सौभाग्य से, पृथ्वी ने डायरी रखी है। महासागर में कोरल, गुफा में चूना पत्थर के आरोही निक्षेप (स्टेलेगमाइट), लम्बे समय तक जीवित रहने वाले पेड़, कवचधारी सूक्ष्म समुद्री जीव, इन सभी में वार्षिक परतें जुड़ती रहती हैं और इनमें बहुत विश्वासपूर्ण तरीके से अतीत की स्थितियाँ दर्ज होती हैं। गहराई से अध्ययन करने हेतु वैज्ञानिकों ने कभी तलछट (सेडिमेन्ट) कोर और कभी आइस कोर को टटोला है, तो कभी महासागर के तल और बर्फीले ध्रुवों को। ये सब राख एवं धूल और लम्बे समय से फँसे गैस के बुलबुलों में अपने संस्मरण लिखते हैं।

अतः एक अर्थ में, हमारे पास टाइम मशीन हैं: प्रत्येक उदाहरण एक अलग कहानी बताता है, जिसे वैज्ञानिक पृथ्वी के अतीत की अधिक सम्पूर्ण समझ बनाने के लिए एक साथ बुन सकते हैं।

मार्च 2018 में, स्मिथसोनियन इंस्टीट्यूशन के नेशनल म्यूज़ियम ऑफ नेचुरल हिस्ट्री ने पृथ्वी के तापमान के इतिहास पर तीन दिवसीय संगोष्ठी का आयोजन किया था जिसके दौरान शिक्षकों, पत्रकारों, शोधकर्ताओं और जनता को एक मंच पर मिलकर पुराजलवायु की अपनी समझ को बढ़ाने का मौका मिला। व्याख्यान के दौरान, एक शाम, जलवायु के मॉडल तैयार करने वाले और नासा के गोडार्ड इंस्टीट्यूट फॉर स्पेस स्टडीज़ के निदेशक, गेविन श्मिड्ट, और पेंसिल्वेनिया स्टेट यूनिवर्सिटी के विश्व प्रसिद्ध भूवैज्ञानिक रिचर्ड एले ने बताया, किस प्रकार पृथ्वी के अतीत की जलवायु की जानकारी का उपयोग करके वैज्ञानिक भविष्य की जलवायु से सम्बन्धित भविष्यवाणी करने के लिए उपयोगी मॉडल बनाते हैं व उनको बेहतर करने का प्रयास करते हैं।

इस सन्दर्भ में पृथ्वी की जलवायु के इतिहास सम्बन्धी गाइड साझा कर रहे हैं - यह आपको न केवल हम जो जानते हैं, बल्कि हम इसे कैसे जानते हैं, इससे भी रूबरू कराएगी।

? प्रश्न - हम पृथ्वी के अतीत की जलवायु का पता कैसे लगाते हैं?

पृथ्वी के पिछले अवतारों को फिर से संगठित एवं संकल्पित करने में थोड़ी रचनात्मकता लगती है। सौभाग्य से, वैज्ञानिक प्रमुख प्राकृतिक कारकों को पहचानते हैं जो जलवायु को आकार देते हैं। इन कारकों में ज्वालामुखी से निकलने वाली राख जो सूर्य को अवरुद्ध करती है, पृथ्वी की कक्षा में परिवर्तन जिससे सूर्य की रोशनी विभिन्न अक्षांशों पर बदलती है, महासागरों और समुद्री बर्फ का संचलन, महाद्वीपों के खाके में बदलाव, ओज़ोन छिद्र के आकार में बदलाव, ब्रह्माण्डीय किरणों का विस्फोट, ग्रीनहाउस गैसें और वनों की कटाई जैसी प्रक्रियाएँ शामिल हैं। इनमें सबसे महत्वपूर्ण हैं कार्बन डाइऑक्साइड और मीथेन जैसी ग्रीनहाउस गैसें, जो सूर्य की गर्मी को संरक्षित यानी ट्रेप करती हैं।

जैसा कि कार्सन ने उल्लेख किया है, पृथ्वी अपने परिदृश्यों में इन परिवर्तनों को दर्ज करती है: भूगर्भीय परतों, वृक्षों एवं सीप के जीवाश्म, यहाँ तक कि चूहे की क्रिस्टलीकृत पेशाब में भी - वास्तव में, मूल रूप से कुछ भी प्राचीन जो संरक्षित हो जाता है, वह पृथ्वी की डायरी का रूप ले लेता है। वैज्ञानिक प्राचीन समय की ऐसी डायरी के पन्नों को खोल सकते हैं और उनमें पढ़ सकते हैं कि उस समय क्या चल रहा था। पेड़ों के वार्षिक वलय अत्यन्त व्यवस्थित रिकॉर्ड रखते हैं, उनके वार्षिक वलयों में वर्षा की रिकॉर्डिंग होती है। आइस कोर तो लगभग 10 लाख वर्षों तक की पुरानी मौसमी परिस्थितियों का विस्तृत विवरण संजो के रखती है।



चित्र-1: आइस कोर बर्फबारी, ज्वालामुखीय राख की वार्षिक परतों, और यहाँ तक कि लम्बे समय से मृत सभ्यताओं के अवशेषों को प्रकट करती हैं।

? प्रश्न - आइस कोर हमें और क्या बता सकती है?

“वाह! बहुत कुछ,” एले कहते हैं। उन्होंने पाँच फील्ड सीज़न तक ग्रीनलैंड की बर्फ की चादर से आइस कोर (बर्फ के बेलनाकार टुकड़े) निकालकर अध्ययन किया है। वास्तव में, एक आइस कोर क्या है: हज़ारों वर्षों से हो रही बर्फबारी की परतों की एक अनुप्रस्थ काट।

जैसा कि दोनों शोधकर्ता केटलीन कीटिंग-बिटोंटी और लुसी चैंग लिखती हैं, ‘जब गिरती हुई बर्फ यानी स्नोफ्लेक्स ज़मीन को ढँकती है, तो इसमें वायुमण्डलीय गैसों से भरे सूक्ष्म वायु-अवकाश (air cavities) कैद हो जाते हैं। ध्रुवों पर, पुरानी परतें दफन हो जाती हैं और दबकर संकुचित होने से, अतीत की हवा के ये अवकाश बुलबुलों का रूप ले लेते हैं।’ वैज्ञानिक, बर्फ की रासायनिक संरचना का उपयोग कर (H_2O में ऑक्सीजन के भारी और हल्के समस्थानिकों के अनुपात की मदद से), तापमान का अनुमान लगाते हैं। ग्रीनलैंड और अंटार्कटिका में, एले जैसे वैज्ञानिक अकल्पनीय रूप से लम्बे बर्फ के टुकड़े निकालते हैं - जिनमें से कुछ तो दो मील से अधिक लम्बे होते हैं!

आइस कोर हमें बताती हैं कि किसी विशेष वर्ष के दौरान कितनी बर्फ गिरी थी। सिर्फ यही नहीं, वे धूल, समुद्री नमक, दूर के विस्फोटों से ज्वालामुखी की राख, और यहाँ तक कि रोमन नलसाज़ी (प्लम्बिंग) द्वारा छोड़े गए

प्रदूषण को भी प्रकट करती हैं। एले कहते हैं, "जो कुछ भी हवा में है, तो वह बर्फ में भी है।" सर्वोत्तम स्थितियों में, हम आइस कोर डेटिंग से सटीक मौसम और वर्ष तक का पता लगा सकते हैं। उनके वार्षिक वलयों की तुलना किसी वृक्ष के वार्षिक वलयों से की जा सकती है। ऐली के अनुसार, आइस कोर, पुराजलवायु के प्रतिरूपों (proxies) के 'स्वर्ण मानक' हैं क्योंकि वे सैकड़ों हज़ारों वर्षों से चले आ रहे अनूठे विवरणों को सुरक्षित रखते हैं।

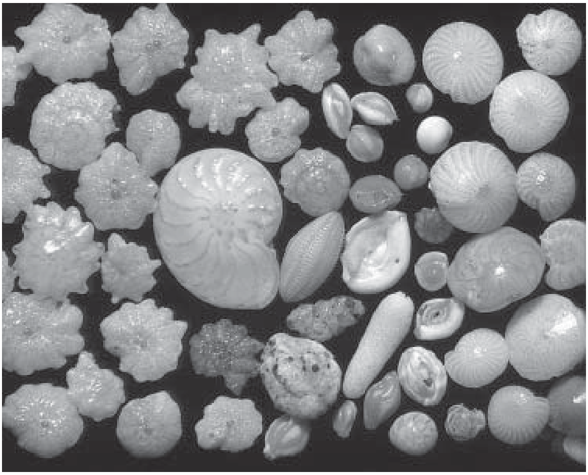
? रुकिए, लेकिन क्या पृथ्वी का इतिहास इससे भी पुराना नहीं है?

हाँ, यह सही है। पुराजलवायु वैज्ञानिकों को लाखों या करोड़ों साल पीछे जाने की ज़रूरत है - और इसके लिए हमें आइस कोर से भी पुरानी चीज़ों की ज़रूरत होगी। सौभाग्य से, सजीव जीवन का एक लम्बा रिकॉर्ड है। जटिल जीवन का जीवाश्म रिकॉर्ड लगभग 60 करोड़ वर्ष पुराना है। इसका मतलब यह है कि हमारे पास जलवायु परिवर्तन के लिए निश्चित प्रतिरूप हैं जो हमें इस प्राचीन समय तक पहुँचा सकते हैं। इनमें से सबसे महत्वपूर्ण है कोनोडॉण्ट (विलुप्त, ईल जैसी मछली) के दाँत, जो लगभग 52 करोड़ वर्ष पुराने हैं।

लेकिन इस समयसीमा के कुछ सबसे आम जलवायु प्रतिरूप और अधिक सूक्ष्म हैं। फोरामिनिफर/फोरम्स और डायटम, किसी बिन्दु जितने बड़े, एककोशिकीय प्राणी हैं जो अक्सर महासागरों के तल पर रहते हैं। क्योंकि वे पूरी पृथ्वी पर बिखरे हुए हैं और जुरासिक समय से पाए जाते हैं, वे वैज्ञानिकों के लिए पुरातन तापमान की जाँच करने के लिए एक सशक्त



चित्र-2: कोनोडॉण्ट जीवाश्म: *महासागरों में 30 करोड़ से अधिक वर्षों तक मौजूद रहे, कैम्ब्रियन से जुरासिक समय की शुरुआत तक। ये जीवाश्म प्राचीनतम काल को परिभाषित करने और पहचानने के लिए अत्यन्त महत्वपूर्ण हैं।*



चित्र-3: फोरामिनीफेरा को 'बख़्तरबन्द अमीबा' कहा गया है क्योंकि वे आम तौर पर लगभग आधा और एक मिलीमीटर के बीच होते हैं और एक छोटे-से खोल का स्राव करते हैं।

जीवाश्म रिकॉर्ड साबित होते हैं। उनके आवरण में ऑक्सीजन समस्थानिकों का उपयोग करके हम 10 करोड़ से भी अधिक साल पहले के महासागर के तापमान का पुनर्निर्धारण कर सकते हैं।

कार्सन ने लिखा था, "हर उत्क्षेपित अन्तरीप (ज़मीन से निकली हुई चट्टान) में, हर समुद्री तट के मुड़ते हुए किनारे में, रेत के हर दाने में धरती की कहानी है।" ऐसी कहानियाँ रेत के दाने से भी छोटे जीवों में और समुद्र के तटों को बनाने वाले पानी में भी छुपी हुई हैं।

? प्रश्न - हमारे अतीत के बारे में हम कितनी निश्चितता से बता सकते हैं?

पुराजलवायु वैज्ञानिकों के लिए, जीवन महत्वपूर्ण है: यदि आपके पास पृथ्वी पर जीवन के संकेतक हैं, तो आप जीवों के वितरण के आधार पर तापमान की व्याख्या कर सकते हैं।

लेकिन जब हम इतने पीछे चले जाएँ कि किसी कोनोडॉण्ट के दाँत भी नहीं हों, तो हम अपना प्रमुख संकेतक खो देते हैं। प्रमुख संकेतक न होने पर हम सिर्फ तलछट के वितरण और अतीत के हिमनदों के संकेतकों का एक्सट्रापोलेशन कर जलवायु पैटर्न को दर्शा सकते हैं। हम जितना पीछे जाते हैं, हमारे पास उतने ही कम साक्ष्य उपलब्ध होते हैं और हमारी समझ भी उतनी ही कम बन पाती है। स्मिथसोनियन पेलियो-बायोलॉजिस्ट यानी जीवाश्म जीवविज्ञानी ब्रायन ह्यूबर, कहते हैं, "जैसे-जैसे साक्ष्य कम होते जाते हैं, जलवायु पैटर्न का चित्र धुँधला और धुँधला होता जाता है।" ब्रायन

ने स्मिथसोनियन म्यूज़ियम में इस संगोष्ठी को आयोजित करने में साथी स्कॉट विंग की मदद की थी। स्कॉट विंग जीवाश्म अनुसंधान वैज्ञानिक और स्मिथसोनियन संग्रहालय के क्युरेटर हैं।

? प्रश्न - ग्रीन हाउस गैसों के महत्व को प्रदर्शित करने में पुराजलवायु क्या भूमिका निभाता है?

ग्रीनहाउस गैसें, जैसा कि उनके नाम से पता चलता है, ताप को बनाए रखती हैं। यह प्रमुख रूप से पृथ्वी पर ताप का कुचालक आवरण बनाती हैं। यदि आप पिछले आइस एज के ग्राफ का अध्ययन करें, तो आप देख सकते हैं कि CO_2 के स्तर और आइस एज (या वैश्विक तापमान) संरेखित हैं। अधिक CO_2 गर्म तापमान और कम बर्फ के समानुपाती है और कम CO_2 इसके विपरीत। "और हमें यहाँ कार्य-कारण की दिशा पता है," एले बताते हैं। "वातावरण में CO_2 बढ़ेगी तो बर्फ कम बनेगी, कम बर्फ बनने से CO_2 की मात्रा वायुमण्डल में नहीं बढ़ती। यानी उलटा सही नहीं है।"

हम विशिष्ट समयकाल का भी अध्ययन कर सकते हैं ताकि यह देखा जा सके कि CO_2 का स्तर अधिकतम कब-कब हुआ और उसके प्रति पृथ्वी की क्या प्रतिक्रिया रही। उदाहरण के लिए, पृथ्वी के सेनोज़ोइक समयकाल, यानी लगभग 5.59 करोड़ वर्ष पूर्व के समय में, अत्यधिक गर्मी के दौरान, वातावरण में CO_2 की मात्रा को दोगुना करने के लिए पर्याप्त कार्बन मुक्त हुआ था। परिणामस्वरूप गर्म परिस्थितियों ने कहर बरपाया, जो जीवों के बड़े पैमाने पर पलायन करने और विलुप्त होने का कारण बना; लगभग हर प्राणी या तो विलुप्त हो गया, या फिर प्रवास कर गया। पौधे सूख गए और महासागर का पानी अम्लीय और काफी गरम हो गया।

दुर्भाग्य से, अब हम जहाँ जा रहे हैं, उसके लिए यह अनुभव एक अग्रदूत साबित हो सकता है। ह्यूबर कहते हैं, "यह जलवायु मॉडलर्स के लिए डरावना है। जिस दर से हम बढ़ रहे हैं, हम अत्यधिक तापमान वाले उन युगों की ओर लौट रहे हैं जब पृथ्वी गरम हुई थी।" अतः, पिछले जलवायु परिवर्तन में कार्बन डाइऑक्साइड की भूमिका को समझने से, हमें आगे होने वाले जलवायु परिवर्तन की भविष्यवाणी करने में मदद मिलती है।

? प्रश्न - यह तो बहुत भयावह हो सकता है।

जी हाँ।

? प्रश्न - मैं वास्तव में इस बात से प्रभावित हूँ कि हमारे पास बहुत सारा पुराजलवायु डेटा है। लेकिन जलवायु के मॉडल काम कैसे करते हैं?

यह बड़ा अच्छा सवाल है! विज्ञान में, आप तब तक एक मॉडल नहीं बना

सकते जब तक आप किसी तंत्र में अन्तर्निहित बुनियादी सिद्धान्तों को नहीं समझते हैं। तो मात्र यह तथ्य कि हम अच्छा मॉडल बनाने में सक्षम हैं, का मतलब है कि, हम समझते हैं कि यह सब कैसे काम करता है। एक मॉडल अनिवार्य रूप से वास्तविकता का एक सरलीकृत संस्करण है, जो भौतिकी और रसायन विज्ञान के नियमों के बारे में उपलब्ध ज्ञान पर आधारित है। इंजीनियर गणितीय मॉडलों का उपयोग कर कई संरचनाओं जैसे हवाई जहाज़ से लेकर पुलों तक, का निर्माण करते हैं जिनपर लाखों लोग निर्भर करते हैं।

हमारे मॉडल डेटा के ऐसे ढाँचे पर आधारित हैं, जिसे पुराजलवायु का अध्ययन करने वाले वैज्ञानिकों ने लम्बे समय से दुनिया के हर कोने से पुराजलवायु प्रतिरूपों का अध्ययन कर एकत्रित किया है। इसलिए यह ज़रूरी है कि डेटा और मॉडल का एक-दूसरे से सम्बन्ध और विनिमय हो। सुदूर अतीत के डेटा का उपयोग करके, वैज्ञानिक अपनी भविष्यवाणियों की परीक्षा लेते हैं, और जो भी विसंगतियाँ उत्पन्न होती हैं, उन्हें ठीक करने का प्रयास करते हैं। श्मिड्ट कहते हैं, "भविष्य में क्या होगा, इसके बारे में बेहतर भविष्यवाणी करने के लिए हम अतीत में इन मॉडलों के निष्कर्षों की जाँच और परीक्षण कर सकते हैं।"

इसी तरह का एक मॉडल नीचे दर्शाए गए चित्र में दिया गया है।

? प्रश्न - यह सुन्दर है। हालाँकि, मैंने सुना है कि मॉडल बहुत सटीक नहीं होते।

उनकी प्रकृति और परिभाषा में ही निहित है कि मॉडल हमेशा गलत होते हैं। हम उन्हें हमारे सबसे अच्छे अनुमान के रूप में सोच सकते हैं। लेकिन अपने आप से पूछें: क्या ये अनुमान हमें पहले की तुलना में अधिक जानकारी देते हैं? क्या वे उपयोगी भविष्यवाणियाँ प्रदान करते हैं जो हम अन्यथा प्राप्त नहीं कर पाते? क्या वे हमें नए, बेहतर सवाल पूछने में मदद करते हैं? श्मिड्ट कहते हैं, "जैसे ही हम जानकारी के इन सभी टुकड़ों को एक साथ रखते हैं, हम कुछ ऐसा पाते हैं जो बहुत हद तक हमारे ग्रह जैसा



चित्र-4: *जलवायु मॉडल: तापमान परिवर्तन (हेडले a1b) 2100*

दिखता है। हम जानते हैं कि यह मॉडल अधूरा है। हम जानते हैं कि इसमें कुछ ऐसी चीज़ें हैं जिन्हें हमने शामिल नहीं किया है। हम जानते हैं कि हमने कुछ ऐसी चीज़ों को शामिल किया है जो थोड़ी गलत हैं। लेकिन, इन मॉडलों में हम जो बुनियादी पैटर्न देखते हैं, वह पहचानने योग्य होते हैं... उन पैटर्न्स की तरह जिन्हें हम हर समय उपग्रहों के ज़रिए देखते हैं।

? प्रश्न - तो हमें भविष्यवाणी करने के लिए उन पर भरोसा करना चाहिए?

मॉडल पृथ्वी के अतीत, वर्तमान और कुछ मामलों में, भविष्य में हमारे द्वारा देखे जाने वाले पैटर्न्स को विश्वासजनक रूप से पुनः पेश करते हैं। अब हम ऐसे समय में हैं जब हम जलवायु के शुरुआती मॉडल की तुलना वास्तविकता से कर सकते हैं। ऐसे मॉडल जो 1980 के दशक के अन्त और 1990 के दशक में नासा में श्मिड्ट की टीम ने तैयार किए थे, उन्हें वास्तविकता से तोला जा सकता है। एले कहते हैं, "जब मैं एक छात्र था, तो शुरुआती मॉडलों ने हमें बताया था कि हमारा ग्रह गर्म कैसे होगा। यही हो रहा है। मॉडल सफलतापूर्वक भविष्यवाणी करने के साथ-साथ व्याख्यात्मक भी हैं: वे काम करते हैं।" आप किस पाले में हैं, उसके आधार पर हो सकता है कि आप कहें, "ओह अच्छा! हम सही थे।" या "ओह, नहीं! हम सही थे।"

मॉडल की सटीकता की जाँच करने के लिए, शोधकर्ता उस डेटा पर वापस जाते हैं जो एले और अन्य लोगों ने एकत्र किया है। मॉडल सुदूर अतीत में लागू किए जाते हैं, और उनकी तुलना उन आँकड़ों से की जाती है जो वास्तव में शोधकर्ताओं के पास हैं।

सिराक्यूज़ विश्वविद्यालय की एक जीवाश्म वैज्ञानिक लिंडा इवनी कहती हैं, "यदि कोई मॉडल प्राचीन अतीत की जलवायु को पुनः प्रस्तुत करने में अच्छा है, तो वह मॉडल भविष्य में क्या होने वाला है, इसका अनुमान लगाने के लिए भी एक अच्छा उपकरण साबित होगा।" इवनी के अनुसन्धान का प्रतिरूप प्राचीन सीप हैं, जिनके शंख में न केवल वार्षिक परिस्थितियों का, बल्कि 30 करोड़ वर्ष पूर्व की हर सर्दी और गर्मी की ऋतुओं के रिकॉर्ड हैं - ये किसी मॉडल की जाँच करने का एक महत्वपूर्ण ज़रिया साबित होते हैं। वे कहती हैं, "मॉडल जितने बेहतर रूप से अतीत की परिस्थिति दर्शा पाएँगे, वे भविष्य का अनुमान भी उतनी ही सटीकता से दे पाएँगे।"

? प्रश्न - पुराजलवायु हमें दिखाती है कि समय के साथ-साथ पृथ्वी की जलवायु नाटकीय रूप से बदल गई है। एक सापेक्ष अर्थ में, क्या इसका मतलब यह है कि आज के बदलाव कोई बड़ी बात नहीं हैं?

जब रिचर्ड एले मानव निर्मित जलवायु परिवर्तन की गम्भीरता की व्याख्या

करने की कोशिश करते हैं, तो वे अक्सर एक विशेष वार्षिक घटना का उल्लेख करते हैं: हर वर्ष लॉस एंजिल्स की पहाड़ियों पर धधकने वाले दावानल। यह आग पूर्वानुमेय, चक्रीय, और प्राकृतिक है। चूँकि आग लगना स्वाभाविक है, इसका मतलब यह नहीं कि आगजनी करने वाले लोगों द्वारा आग लगाई जाना सही है। इसी तरह, यह तथ्य कि जलवायु लाखों वर्षों में बदल गई है, इसका मतलब यह नहीं है कि मानव निर्मित ग्रीनहाउस गैसें एक गम्भीर वैश्विक खतरा नहीं हैं।

विंग कहते हैं, "हमारी सभ्यता स्थिर जलवायु और समुद्री सतह पर आधारित है। और अतीत से हम जो कुछ भी जानते हैं, उससे पता चलता है कि जब आप बहुत मात्रा में कार्बन वातावरण में डालते हैं, तो जलवायु और समुद्र का स्तर व्यापक रूप से बदलता है।"

औद्योगिक क्रान्ति के बाद से, मानव गतिविधियों ने दुनिया को 2 डिग्री फेरन्हाइट गर्म किया है, जिसे श्मिड्ट एक 'आइस एज यूनिट' का एक-चौथाई मानते हैं। एक आइस एज यूनिट, पृथ्वी के एक हिम युग और एक गैर-हिम युग से गुज़रने में तापमान परिवर्तन का मापदण्ड है। आज के मॉडल द्वारा अनुमान लगाया जा सकता है कि 22वीं सदी (2100) तक पृथ्वी का तापमान 2 से 6 डिग्री सेल्सियस बढ़ सकता है। पिछले 20 लाख वर्षों में गर्मी बढ़ने की दर से यह 20 गुना ज़्यादा है। यानी पुरातन समय के मुकाबले में यह अत्यन्त तेज़ी-से बढ़ रहा है।

यह ज़रूर है कि अनिश्चितताएँ हैं: एले का कहना है, "हम इस बारे में बहस कर सकते हैं कि क्या हम कुछ ज़्यादा आशा (निराशा) वादी तो नहीं हो रहे हैं, लेकिन इस बारे में ज़्यादा बहस नहीं हो सकती है कि क्या हम बहुत डरे हुए हैं या नहीं। यह देखते हुए कि हम पहले कितने सही थे, हम अपने जोखिम पर ही जलवायु के इतिहास को नज़रअन्दाज़ कर सकते हैं।

रेचल ई. ग्रोस्स: विज्ञान सम्पादक हैं जो नई खोजों और बहसों की ऐसी कहानियों पर काम करती हैं जो दुनिया के बारे में हमारी समझ को पुख्ता करती हैं। स्मिथसोनियन से पहले उन्होंने *स्लेट, वायर्ड* और *द न्यूयॉर्क टाइम्स* के लिए विज्ञान रिपोर्टर के रूप में काम किया है।

अँग्रेज़ी से अनुवाद: स्निग्धा दास: पाँच साल *एकलव्य* के होशंगाबाद विज्ञान शिक्षण कार्यक्रम से जुड़ी रहीं। पिछले 11 सालों से विद्या भवन एजुकेशन रिसोर्स सेंटर, उदयपुर के साथ काम कर रही हैं।

यह लेख smithsonianmag.com के अंक अप्रैल 16, 2018 से साभार।